



**Avaliação de Produtos Cartográficos e Extração de Parâmetros
Geomorfométricos Obtidos por um VANT**
Evaluation of Cartographic Products and Extraction
of Geomorphometric Parameters Obtained By a UAV

Samir de Souza Oliveira Alves¹ & Alessandra Carreiro Baptista²

¹Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática,
Rua Evaristo F. Ferreira da Costa, 81530-001, Curitiba, Paraná, Brasil

²Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Departamento de
Engenharia, Rodovia BR 465, Km 07, 23890-000, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil
E-mails: samirsoalves@hotmail.com; acbaptista@gmail.com

Recebido em: 06/03/2020 Aprobado em: 06/06/2020

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2020_4_133_143

Resumo

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) caracterizam-se como tecnologias promissoras a projetos de engenharia devido a possibilidade de associação com sensores imageadores e a aplicação de técnicas de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. Ortomosaicos e Modelos Digitais de Terreno (MDT) são alguns dos produtos cartográficos elaborados a partir de VANT. Entretanto, esses estão sujeitos a imperfeições provenientes do processo de aquisição dos dados. Este trabalho buscou analisar a acurácia de produtos cartográficos e avaliar características geomorfométricas do bairro de Córrego D'Antas, no município de Nova Friburgo-RJ. Utilizou-se uma câmera digital não-métrica a bordo de VANT modelo Matrice 600 PRO e um receptor *Global Navigation Satellite System* (GNSS) para o rastreamento de 10 pontos fotointerpretáveis, aplicados posteriormente no georreferenciamento indireto e na avaliação posicional dos dados, baseada no Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) associado às Especificações Técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). Os produtos testados foram considerados acurados conforme o Decreto-lei 89.817/ET-ADGV, com ortomosaico definido como Classe B para escala 1:2000 e o MDT como Classe A para equidistância das curvas de nível de 5m. Apesar das limitações enfrentadas em campo para utilização da tecnologia VANT na topografia acidentada da região, elaboraram-se produtos cartográficos satisfatórios e parâmetros geomorfométricos do MDT puderam ser extraídos, passíveis de serem utilizados em diferentes estudos para a região.

Palavras-chave: VANT; PEC; Parâmetros Geomorfométricos

Abstract

The Unmanned Aerial Vehicles (UAV) has been noting as promising technologies for engineering projects due to the possibility of association with imagers' sensors and the application of Photogrammetry and Remote Sensing techniques. Orthomosaic and Digital Terrain Models (DTM) are some of the cartographic products elaborated by RPA. However, these products might have imperfections from the data acquisition process. This work analyzed the geospatial data accuracy and evaluated the geomorphometric characteristics in Corrego D'Antas neighborhood, in Nova Friburgo-RJ city. A non-metric digital camera was used on the RPA model Matrice 600 PRO and a GNSS to track 10 point of photo-identification, later applied in the indirect georeferencing and the positional evaluation of the data, based on the Cartographic Accuracy Standard (PEC) associated with the Technical Specifications of Vector Geospatial Data Acquisition (ET-ADGV). The products tested have considered accurate data in according to Brazilian Decree-law 89.817 / ET-ADGV, which orthomosaic have defined as Class B for 1: 2000 scale and DTM as Class A for equidistance of the 5 m level curves. In spite of the limitations had faced in the field to use RPA technology in the rugged topography of the region, satisfactory cartographic products were elaborated and geomorphometric parameters were extracted by MDT, which could be used in several other studies for the region.

Keywords: UAV; PEC; Geomorphometric Parameters

1 Introdução

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (*Remotely-Piloted Aircraft* - RPA) ou Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) são aeronaves controladas a partir de uma estação de pilotagem remota com a finalidade não recreativa, distinguindo-se, assim, dos aeromodelos, os quais têm como propósito os voos recreativos (Brasil, 2017).

Diversas vantagens podem ser citadas para a utilização da tecnologia VANT quando comparada às aeronaves tripuladas, dentre elas, o baixo custo de operação e a flexibilidade de manuseio (Roberto, 2013; Cassemiro & Pinto, 2014), bem como a viabilidade de aplicação em situações de risco ou no uso em áreas inacessíveis, sem comprometer a vida humana (Eisenbeiss, 2009). Destaca-se, ainda, a possibilidade de utilização dessas plataformas na agricultura de precisão, meteorologia, segurança pública e gestão costeira (Colomina *et al.*, 2008), além da obtenção e atualização de bases de dados cartográficos (Luz & Antunes, 2015), em particular, no que tange ao meio físico e suas características geomorfológicas.

O município de Nova Friburgo, localizado na região serrana do estado do Rio de Janeiro, apresenta características que potencializam o desenvolvimento de áreas de risco por dispor de topografia acidentada e pelo constante processo de ocupação irregular. Assim, torna-se importante a avaliação dos padrões do relevo e seus parâmetros morfométricos (declividade e amplitude de relevo) e morfológicos (forma das encostas) e a propensão desses geoambientes a desastres naturais.

Os produtos cartográficos elaborados a partir de VANT, todavia, estão sujeitos a erros altimétricos e planimétricos provenientes do processo de aquisição dos dados. Contudo, é fundamental que tais discrepâncias sejam avaliadas e confrontadas a parâmetros de qualidade a fim de serem determinadas as potencialidades e confiabilidades dessas plataformas na aquisição de dados espaciais, principalmente, no tocante a áreas que apresentam dificuldade de realização de atividades cartográficas.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo discutir a viabilidade operacional e os produtos gerados pela tecnologia VANT, através da elaboração e avaliação da acurácia posicional dos produtos cartográficos utilizando o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) das Especificações Técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais, bem como a extração de parâmetros geomorfométricos advindos de dados adquiridos. Os dados, avaliados neste trabalho, revestem-se de importância para o gerenciamento dos riscos na área de estudo em Nova Friburgo, por permitirem a identificação das áreas mais suscetíveis aos movimentos de massa em consequência da ação gravitacional.

2 Metodologia e Dados

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área designada para o estudo corresponde ao bairro de Córrego D'Antas, às margens do curso d'água que possui o mesmo nome, cortado pela rodovia BR-492 ou RJ-130, que liga os municípios de Teresópolis e Nova Friburgo. Conforme a Figura 1, o bairro está localizado na região perímetro urbano de Nova Friburgo. O município está em torno das coordenadas geográficas 22°16'55" (latitude sul) e 42°31'52" (longitude oeste), situado na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, distante cerca de 140 quilômetros da capital fluminense (Baptista, 2009) e com uma população de aproximadamente 182.082 habitantes segundo o censo populacional de 2010 (IBGE, 2020).

A área de estudo foi escolhida em função de eventos geológicos ocorridos em janeiro de 2011 na região, expondo as instabilidades advindas da topografia acidentada, trechos de hidrografia sinuosos, amplitude altimétrica e intensa ocupação humana.

Nova Friburgo possui a vegetação original constituída pela Mata Atlântica, permanecendo ainda intacta em locais afastados dos núcleos urbanos e/ou de difícil acesso, se caracteriza por relevo montanhoso, acidentado, localizado, em geral, no reverso da escarpa da Serra do Mar e com vertentes predominantemente retilíneas a côncavas (Baptista, 2009).

2.2 VANT e Câmera Utilizadas

O VANT adotado para execução do projeto foi cedida pela empresa PRODEC - Tecnologia e Gestão em Engenharia S/S LTDA é o modelo Matrice 600 PRO produzido pela empresa DJI. A aeronave, enquadrada como Classe 3 perante o regulamento da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), pesa 9,6Kg (comporta peso total de até 15Kg) e raio de alcance de 5 Km a partir do operador. Para a obtenção das imagens aéreas, fixou-se a câmera não-métrica Canon *PowerShot* S100 (Tabela 1) ao VANT.

Segundo Graça *et al.* (2014), estes modelos de câmera não estão preparados para a extração de informações métricas a partir das imagens. Sendo assim, faz-se necessário o processo de calibração, o qual viabiliza a determinação dos parâmetros de orientação interior da câmera, como a distância focal e as coordenadas do ponto principal, além da reconstrução da geometria de formação da imagem no instante da tomada. Conforme Garcia *et al.* (2020), este procedimento melhorar a precisão de um projeto e gerar produtos cartográficos confiáveis.

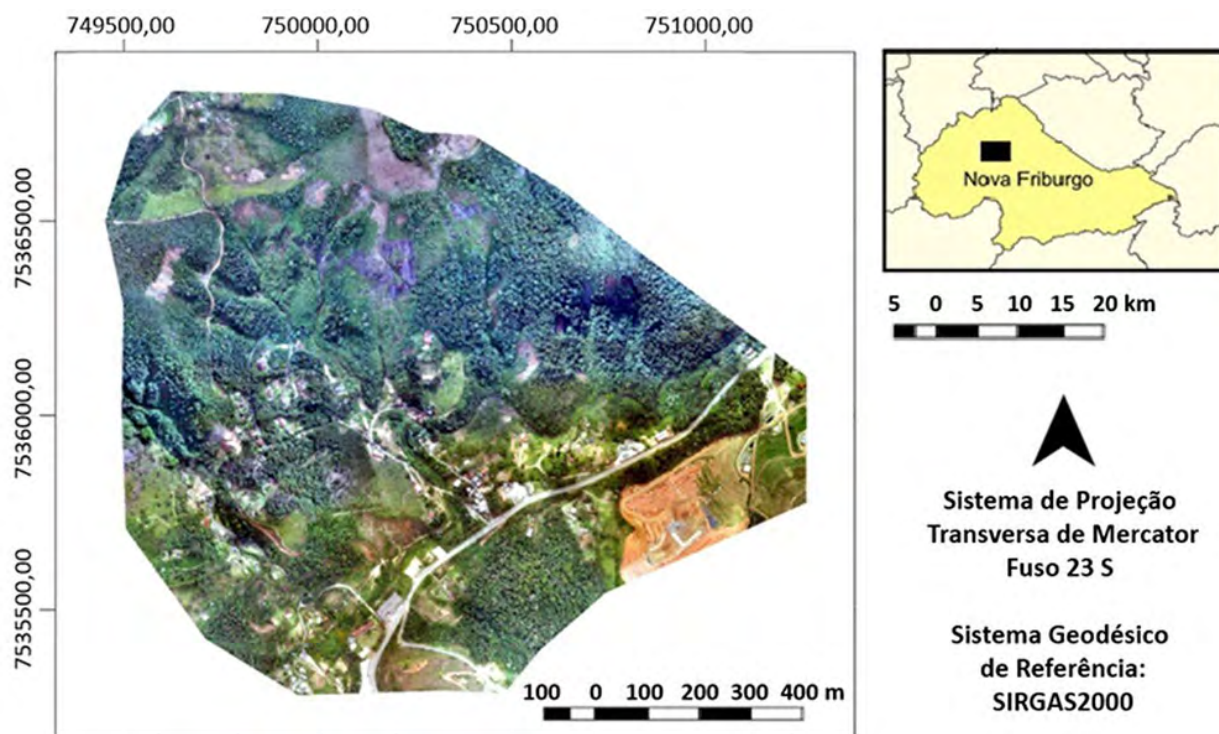


Figura 1 Mapa de Localização da área de estudo no bairro de Córrego D'Antas no município de Nova Friburgo-RJ.

Tipo do sensor	CMOS
Número de pixels	12,1 Megapixels
Tamanho do sensor	7,44 x 5,58 mm
Distância focal nominal	5,2 mm

Tabela 1 Especificações do sensor utilizado (segundo Canon, 2020).

Neste trabalho, a calibração foi realizada simultaneamente com o processamento das imagens aéreas no *software* Pix4D. A plataforma conta com banco de dados de calibrações de diferentes modelos câmeras mais usuais e, simultaneamente ao ajustamento das imagens, o Pix4D realizou o ajustamento da calibração em dois momentos, anterior e posteriormente a identificação dos pontos chaves (*Keypoints*).

O voo foi realizado no modo livre, utilizando apenas o controle manual, sem o uso de plataformas de planejamento e execução automática de voo, o que resultou em linhas de voo não regulares. A escolha de tal abordagem resultou das dificuldades e riscos encontrados na área de estudo, como obstáculos físicos, fatores atmosféricos, a amplitude altimétrica da região e a presença de pessoas (moradias e carros), o que exigiu maior controle do operador durante o levantamento aéreo.

2.3 Obtenção dos Pontos de Controle e de Verificação

Neste trabalho foram coletadas as coordenadas tridimensionais de 10 pontos fotointerpretabilidade no terreno, naturais e pré-sinalizados, utilizando um receptor GNSS JAVAD TRIUMPH 1, com o sistema de referência geodésico SIRGAS2000 e sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Fuso 23S. O número de pontos rastreados ficou restringido a 10 devido à limitação de acesso à grande parte da área levantada pelo VANT, ocasionada pelas características topográficas e vegetação densa.

Conforme ilustra a Figura 2, 5 pontos foram determinados como pontos de controle (PC), ou seja, pontos utilizados para o georreferenciamento indireto das imagens obtidas pelo aerolevantamento. Os demais foram direcionados como pontos de verificação (PV), ou de checagem, para análise da qualidade posicional dos produtos obtidos.

O método de rastreamento aplicado foi o posicionamento relativo em tempo real, também denominado *Real-Time Kinematic* (RTK), o qual permite a determinação da posição acurada dos pontos rastreados em tempo real (Barbosa *et al.*, 2010). Ao longo do levantamento, utilizaram-se dois receptores coletando dados continuamente, o primeiro atuando como a base local de referência, e segundo como *rover* (receptor móvel) para os demais pontos de interesse, com tempo de rastreamento 10 segundos e soluções fixadas.

Após o levantamento, processou-se a base local a partir de duas bases do conjunto de estações geodésicas da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), as ONRJ (Observatório Nacional) e RIOD (IBGE), localizadas na cidade do Rio de Janeiro - RJ. Para conversão das altitudes elipsoidais em ortométricas, utilizou-se o modelo do geopotencial – *Earth Geopotential Model 2008* (EGM2008) (Pavlis & Saleh, 2005), disponibilizado pelo *International Centre for Global Earth Models* (ICGEM).

Considerando a avaliação da influência da quantidade e distribuição dos PC em campo feita por Zanetti *et al.* (2017), o número de pontos adotados neste estudo e a distribuição destes, respeitando as limitações impostas pela área de estudo, foram consideradas suficientes para realização do georreferenciamento dos produtos

cartográficos. Entretanto, os autores ressaltam, quando cabível, a utilização de mais pontos de controle e de sua menor concentração podem aumentar a qualidade posicional do produto.

2.4 Processamento das Imagens

O *software* Pix4D foi utilizado para o processamento das imagens obtidas no aerolevanteamento. Tal plataforma possibilita a autocalibração simultaneamente com a aerotriangulação (Alves Jr., 2015). Após a importação e definição do sistema de coordenadas, iniciou-se o processamento dos dados, divididos em três etapas:

- processamento Inicial – Identificação dos *Keypoints* nas imagens e a calibração dos parâmetros internos da câmera, resultando em uma nuvem de pontos 3D espaçada;
- nuvem de Pontos e Malhas – Densificação, filtragem e classificação da nuvem de pontos e produção da malha texturizadas; e
- MDS, Mosaico de Ortofotos e Índices – Geração do ortomosaico, Modelo Digital de Superfície e Modelo Digital de Terreno.

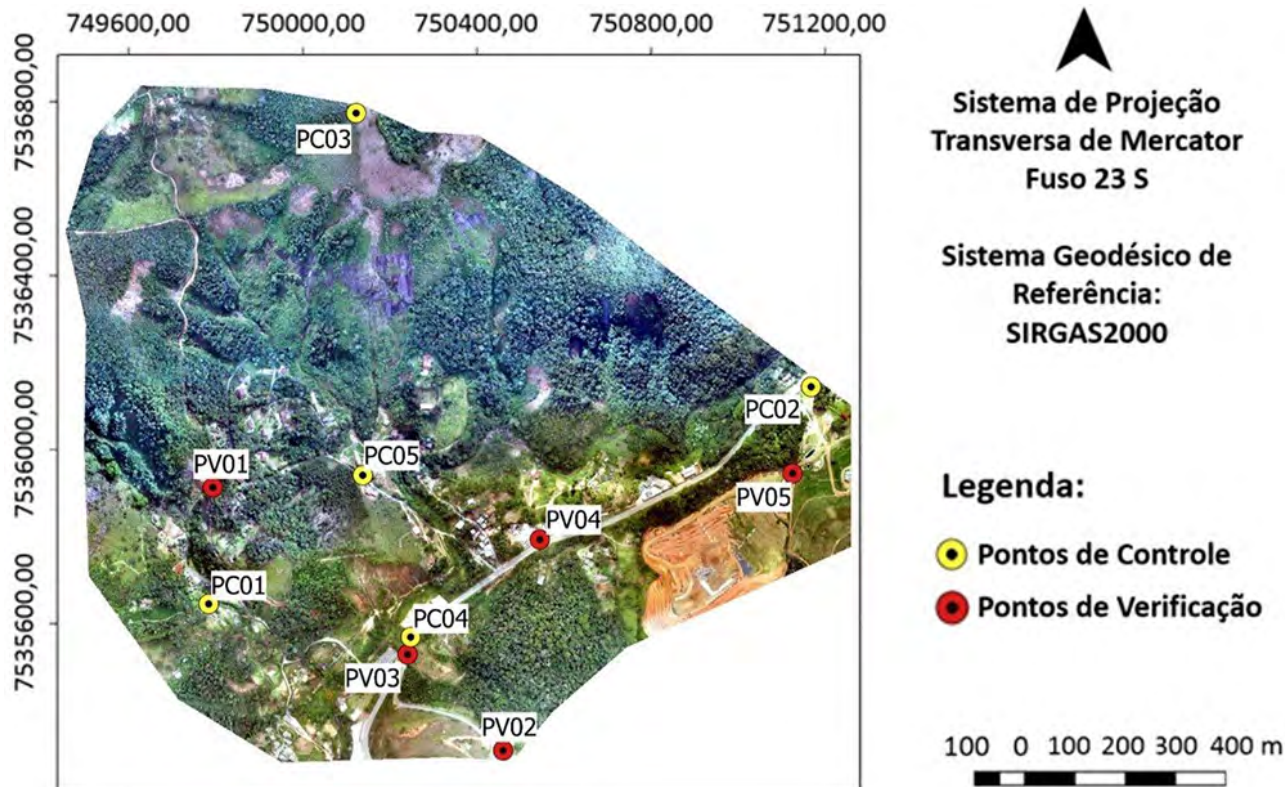


Figura 2 Mapa de Localização dos 5 pontos de controle (PC), em amarelo, para o georreferenciamento indireto e 5 pontos de verificação (PV), em vermelho, para a posterior análise da acurácia.

Posteriormente à primeira etapa, os 5 pontos de controle rastreados foram importados no *software* e identificados nas imagens em suas respectivas pré-sinalizações, realizando-se o georreferenciamento indireto de todo o bloco.

Cabe destacar o uso da opção classificação da nuvem de pontos disponível pela plataforma, ferramenta essencial para elaboração do MDT, uma vez que o Pix4D emprega esta informação de realização da filtragem do MDS. Por tanto, para melhor qualidade do modelo, a classificação da nuvem de pontos foi editada manualmente a fim de minimizar irregularidades no MDT.

2.5 Avaliação Posicional dos Dados Geoespaciais

As discrepâncias planimétricas e altimétricas foram avaliadas inicialmente pela presença de *outlier* nas amostras, observando-se a existência de discrepâncias superiores a três vezes o desvio padrão (σ) (Nero, 2005). Em seguida, aplicaram-se os testes *t Student* e Qui-Quadrados unilaterais, ambos baseadas no Decreto-lei nº. 89.817 (PEC) (BRASIL, 1984) associado à ET-ADGV da INDE (DSG, 2016; Santos *et al.*, 2016), testando-se valores usuais de escala e equidistâncias das curvas de nível.

Aceitando-se distribuição normal das amostras e com número amostral inferior a 30, o teste *t* pode ser aplicado (Ghilani & Wolf, 2006). A hipótese nula testada na distribuição *t Student* indicou a igualdade ou a inferioridade da média amostral das discrepâncias (μ) em relação à exatidão esperada (μ_0), não havendo tendência no modelo. A hipótese alternativa pressupunha que a média não se enquadraria ao PEC.

A partir da média, do desvio padrão e do número de amostras (n), determinou-se o valor da estatística amostral (t_{calc}) através da Equação 1. Com 90 % de nível de confiança ($\alpha = 0,1$) e o grau de liberdade (gl) $n-1$, encontra-se o valor limite $t_{(\alpha,gl)}$ na tabela unilateral. A hipótese nula não será rejeitada se a Equação 2 for atendida.

$$t_{calc} = \frac{(\mu - \mu_0)}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (1)$$

$$t_{calc} < t_{(\alpha,gl)} \quad (2)$$

O teste Qui-Quadrado indica a precisão ao nível de confiança de 90% e a um grau de liberdade $n-1$ a partir do comportamento da variância amostral (σ^2) em relação à tolerância indicada pelo Erro Padrão. Confrontando-se o valor do teste Qui-Quadrado (X^2_{calc}) calculado (Equação 3) e σ_0 a precisão indicada pelo PEC, a hipótese nula não será rejeitada quando a Equação 4 for satisfeita:

$$X^2_{calc} = \frac{((n-1) * S^2)}{(\sigma_0)^2} \quad (3)$$

$$X^2_{calc} < X^2_{tab} \quad (4)$$

2.6 Elaboração dos Parâmetros Geomorfométricos

Os parâmetros geomorfométricos elaborados neste trabalho para análise do relevo foram: Altimetria, declividade, curvatura vertical e curvatura horizontal. Tais parâmetros foram produzidos a partir do MDT na plataforma QGIS. Cabe destacar que, antes de gerados, corrigiram-se as possíveis imperfeições no modelo, como a presença de depressões espúrias. O resultado desse processo resultou no primeiro parâmetro considerado, a altimetria.

Para elaboração do mapa de declividade em porcentagem, definida como a primeira derivada do MDT, aplicou-se a reclassificação de acordo com o indicado pela EMBRAPA (2018), subdividindo-se em 6 classes, conforme o Tabela 2.

Classes	Intervalos	Características
1	0 - 3%	Plano
2	3% - 8%	Suave ondulado
3	8% - 20%	Ondulado
4	20% - 45%	Forte ondulado
5	45% - 75%	Montanhoso
6	> 75%	Escarpado

Tabela 2 Classificação de declividades (segundo EMBRAPA, 2018).

Os mapas de curvatura vertical e horizontal são as segundas derivadas da superfície. Para a curvatura vertical, em cada octante, foram calculados os valores das diferenças altimétricas, subtraindo-a para cada pixel central os valores encontrados em relação aos 8 pontos cardeais e colaterais, obtendo-se a curvatura em cada direção. Quanto às curvaturas horizontais, o valor do ângulo azimutal do pixel central foi subtraído dos valores dos pixels vizinhos nas direções similares ao método anterior, resultando no

valor da curvatura horizontal (Valeriano, 2003; Valeriano & Carvalho Jr., 2003).

Com o objetivo de aprimorar a análise da superfície, realizou-se a reclassificação dos dados a fim de destacar os trechos côncavos, convexos e retilíneos. Para a fração retilínea, utilizou-se um intervalo de tolerância próximo ao valor zero visto que elementos considerados retilíneos podem obter valores próximos de zero. Os intervalos e as classificações adotadas podem ser observados na Tabela 3.

Classes	Intervalos	Características
1	> 0,01	Côncavo
2	0,01 à -0,01	Retilíneo
3	< -0,01	Convexo

Tabela 3 Classificação dos trechos de curvatura.

3. Resultados

3.1 Ortomosaico e MDT

O voo resultou na obtenção de 1592 imagens registradas, com tamanho de pixel (*Ground Sampling Distance* - GSD) de 10 cm. Após o processamento das imagens, obteve-se um ortomosaico considerado satisfatório neste experimento por abranger com totalidade a área de estudo, sem a ocorrência de planos verticais das fachadas das edificações, indicando que a ortorretificação das imagens foi realizada de forma adequada. Conforme a Figura 3, o produto gerado conteve um nível de detalhamento adequado à identificação de construções e elementos que identifiquem a área como região de risco.

Constataram-se deformações nas regiões periféricas do ortomosaico, fenômeno que pode decorrer da topografia acidentada e da amplitude altimétrica da região, entre 893 e 1216 metros, a cobertura de vegetação densa e quase homogenia, o que dificultou a identificação dos *Keypoints*, além da baixa sobreposição entre as imagens. Este último fato evidencia a importância de ser considerada a alta sobreposição das imagens em levantamentos com VANT, evitando deformações e ausência de informação no interior do ortomosaico.

Posteriormente à edição da classificação da nuvem, elaborou-se o MDT com dimensão de pixel de 50 cm, definido também como mapa de elevação (Figura 4), eliminando, através da filtragem da nuvem de pontos, as alturas de elementos como edificações e vegetação arbórea.

Observou-se a amplitude das altitudes na região, variando de 893 m à 1216 m, apresentando menores

altitudes próximas à rodovia BR-492 ou RJ-130 e ao córrego D'Antas. Cabe destacar que pode ser observada na Figura 3 a ocorrência de cicatrizes de movimentos de massa em toda a área, principalmente nas partes mais declivosas, apontadas na Figura 4.

3.2 Análise da Acurácia Planimétrica do Ortomosaico

De posse dos produtos cartográficos, as coordenadas planimétricas e altimétricas dos pontos homólogos aos rastreados em campo foram obtidas através do *software* QGIS. A Tabela 4 apresenta as discrepâncias planimétrica.

O valor encontrado para exclusão de *outlier* foi de 0,686m e, por tanto, nenhum ponto foi identificado como *outlier*. A hipótese nula de inferioridade ou igualdade do valor testado (t_{calc}) quanto à exatidão esperada (t_{tab}) foi testada, conforme Tabela 5.

Não se rejeitou a hipótese nula em um intervalo de confiança de 90% e 4 graus de liberdade. Portanto, pode-se inferir que a média das discrepâncias é igual ou inferior à exatidão planimétrica esperada, constatando-se a ausência de tendência e classificação B para o ortomosaico, com base no Decreto-lei 89.817/ET-ADGV, para a escala cartográfica 1:2000.

Através da verificação pelo teste Qui-Quadrado da Tabela 2 acima, comprovou-se a precisão do produto avaliado. Com um intervalo de confiança de 90% e com 4 graus de liberdade, não foi rejeitada a hipótese nula para o valor da variância das amostras (X^2_{calc}), inferior ao Erro Padrão esperado (X^2_{tab}). Dessa maneira, o ortomosaico é preciso na escala cartográfica 1:2000, para a Classe B.

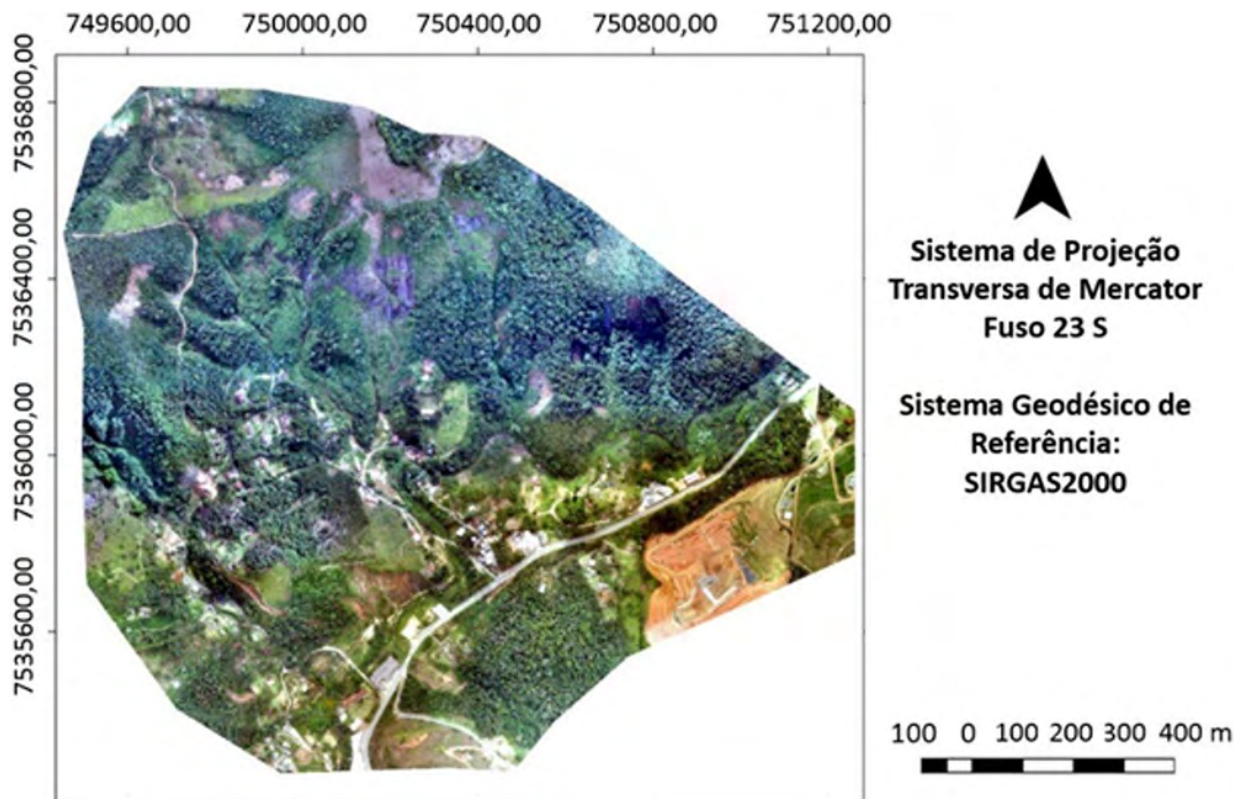


Figura 3 Ortomosaico da região do bairro Córrego D'Antas, Nova Friburgo - RJ.

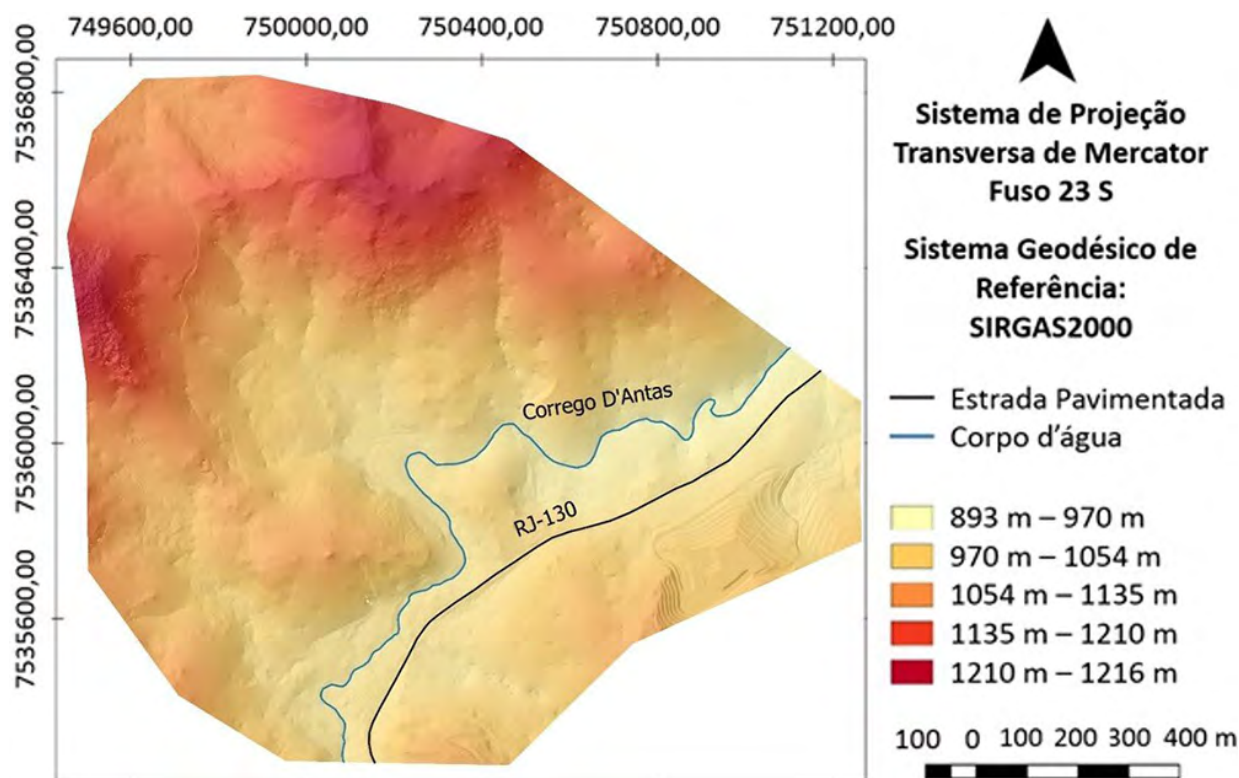


Figura 4 Mapa de elevação do bairro Córrego D'Antas.

ID	Coordenadas de referência		Coordenadas extraídas do ortomosaico		Delta N (m)	Delta E (m)	Discrepâncias Planimétricas (m)
	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)			
PV01	7535307,932	750460,083	7535307,322	750459,884	0,610	0,199	0,642
PV02	7535912,513	749791,710	7535912,268	749791,544	0,245	0,166	0,296
PV03	7535792,837	750544,503	7535792,549	750544,395	0,288	0,108	0,308
PV04	7535944,465	751126,597	7535944,454	751126,600	0,011	-0,003	0,011
PV05	7535528,680	750239,900	7535528,332	750240,146	0,348	-0,246	0,426

Tabela 4 Comparação das coordenadas planimétricas provenientes do ortomosaico.

Teste t <i>Student</i>	t_{calc}	-6.485	Não existe tendência
	t_{tab}	1.533	
Teste Qui-Quadrado	X^2_{calc}	0,582	Preciso
	X^2_{tab}	1,064	

Tabela 5 Teste t *Student* e Qui-Quadrado unilateral para as discrepâncias planimétricas.

3.3 Análise da Acurácia Altimétrica do Modelo Digital de Terreno

Conforme a Tabela 6, as discrepâncias altimétricas correspondem às diferenças encontradas entre a altitude de referência e a extraída no MDT.

De acordo com os valores acima, as discrepâncias altimétricas acima de 1,274 m foram consideradas *outlier*, levando, por tanto, a exclusão do ponto PV01.

Prosseguindo com o teste t *Student*, a Tabela 7 apresenta os valores para os testes de hipótese. Sendo o valor determinado para o t_{calc} inferior ao t_{tab} , não se rejeitou a hipótese nula a um nível de significância de 10% e com 3 graus de liberdade. Por tanto, pode-se considerar a não tendenciosidade no MDT para uma equidistância de 5 m, enquadrando-se pelo padrão brasileiro como Classe A.

Os valores, acima, do teste Qui-Quadrado indicaram a não rejeição da hipótese nula, para um nível de significância de 10% e com 3 graus de liberdade. Sendo o MDT com acurácia para equidistância de 5 m para as curvas de nível, enquadrado na Classe A.

3.4 Parâmetros Geomorfométricos

Um dos atributos fundamentais para análise geomorfológica, por afetar diretamente o fluxo da água e, consequentemente, no processo de erosão, é o mapa da declividade. O mapa de declividades (Figura 5) foi elaborado a partir do MDT e reclassificado de acordo com os intervalos indicados anteriormente. Pode-se verificar no mapa que predomina na região a declividade forte ondulada e montanhosa.

Elaborando-se os mapas das curvaturas e aplicando-se o critério de classificação quanto à curvatura côncava

ou convexa, foram obtidos como resultados os dois mapas apresentados a seguir, o mapa de curvatura vertical (Figura 6) e o mapa de curvatura horizontal (Figura 7).

A curvatura vertical indica a taxa de mudança da inclinação para cada pixel. Os valores positivos retratando a convexidade da superfície, os valores negativos a concavidade e zero para trechos planos. As vertentes que apresentam configuração côncava são mais favoráveis aos processos de movimentação de terra, devido ao fluxo da água nessas regiões.

A Figura 7 acima representa a curvatura perpendicular à superfície de inclinação, utilizando das mesmas condições da curvatura vertical para determinação da concavidade e convexidade. Esse parâmetro também prenuncia o fluxo divergente ou convergente da matéria sobre a superfície, quanto à projeção horizontal. Por tanto, também está vinculada com o acúmulo e velocidade do escoamento superficial.

Na área estudada, a suscetibilidade aos deslizamentos está relacionada aos padrões do relevo e a sua morfometria (inclinação e amplitude), obtidos neste estudo pelo MDT e parâmetros morfológicos, como escarpas e forma das encostas. A amplitude e as altas declividades são responsáveis pela maior intensidade dos processos morfodinâmicos e pela maior suscetibilidade à erosão e aos escorregamentos.

Baptista (2009) e Lorentz *et al.* (2016) destacam que a concavidade e/ou convexidade das encostas também é um fator que influencia no desenvolvimento de movimentos de massa e está condicionado ao raio de curvatura da encosta. As encostas com configuração côncava ou segmentos côncavos em sua seção são mais predispostas aos movimentos de massa, porque são zonas de convergência do fluxo de água.

ID	Altitudes de referência (m)	Altitudes extraídas do MDT (m)	Discrepâncias Altimétricas (m)
PV01	983,698	982,353	1,345 (<i>outlier</i>)
PV02	1019,221	1019,708	0,487
PV03	948,423	947,422	1,001
PV04	930,954	930,665	0,289
PV05	932,639	931,676	0,963

Tabela 6 Comparação das altitudes provenientes do MDT.

Teste t <i>Student</i>	t_{calc}	-4,216	Não existe tendência
	t_{tab}	1.533	
Teste Qui-Quadrado	X^2_{calc}	0.716	Preciso
	X^2_{tab}	1.064	

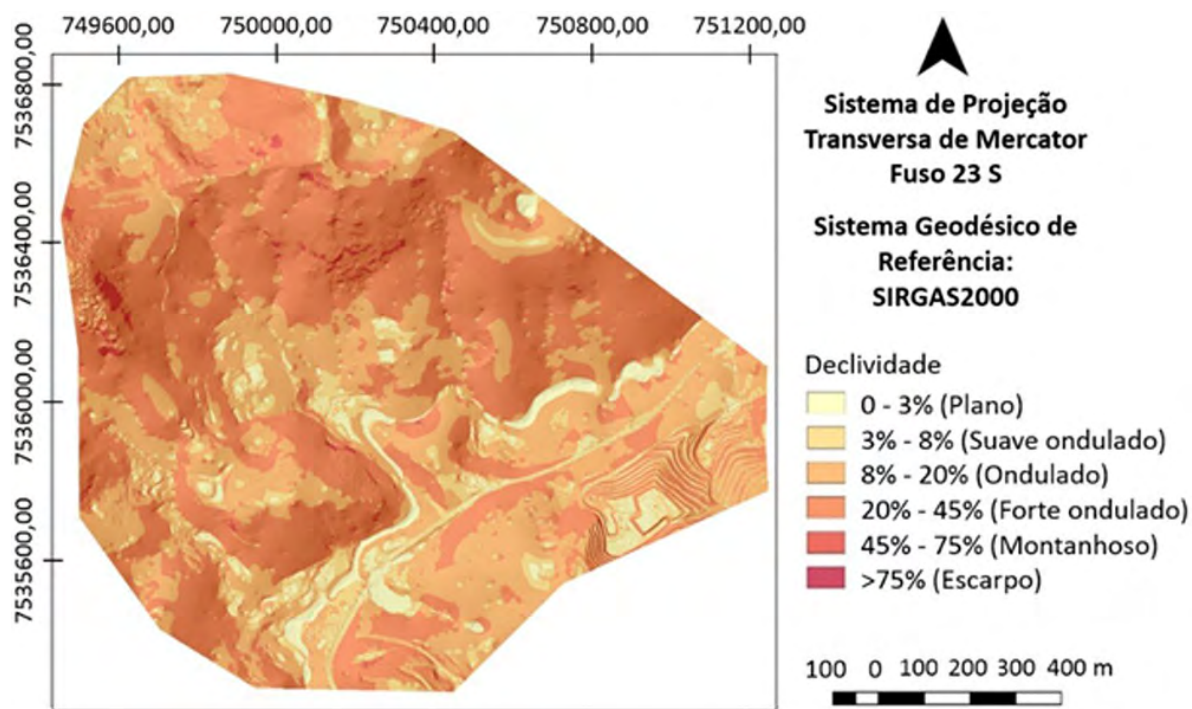
Tabela 7 Teste t *Student* e Qui-Quadrado unilateral para as discrepâncias altimétricas.


Figura 5 Mapa de classificação quanto às condições de declividade do bairro Córrego D'Antas.

Também é preciso atentar para o fato de que os mapas apresentados não são produtos voltados à definição de áreas de risco, mas elaborados com o objetivo de ajudar na visualização das áreas com características naturais que possam exigir maior atenção e cuidados técnicos para sua ocupação, ou mesmo que aponte para sua não ocupação.

Dessa forma, evidencia-se que a aplicação de sensoriamento remoto, em especial o uso da tecnologia VANT para cartografia digital, possui um relevante potencial nas atividades para ações preventivas e de resposta

a desastres. As vantagens dessa tecnologia destacam-se por ser um recurso economicamente viável que oferece boa qualidade, agilidade nos trabalhos de campo e na aquisição das fotografias aéreas.

Seja manual ou automatizada, a elaboração de um mapa deve observar um mínimo de regras para torná-los compreensíveis e transmissores de informação. Segundo Joly (1990), as qualidades de um mapa, apesar de parcialmente subjetivas, são medidas por sua precisão, confiança que se lhe pode conceder e eficácia.

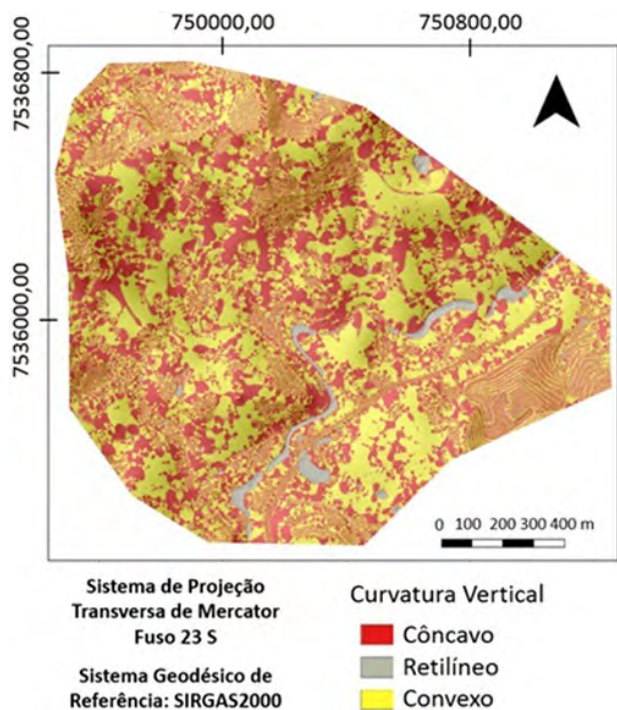


Figura 6 Mapa da Curvatura Vertical.

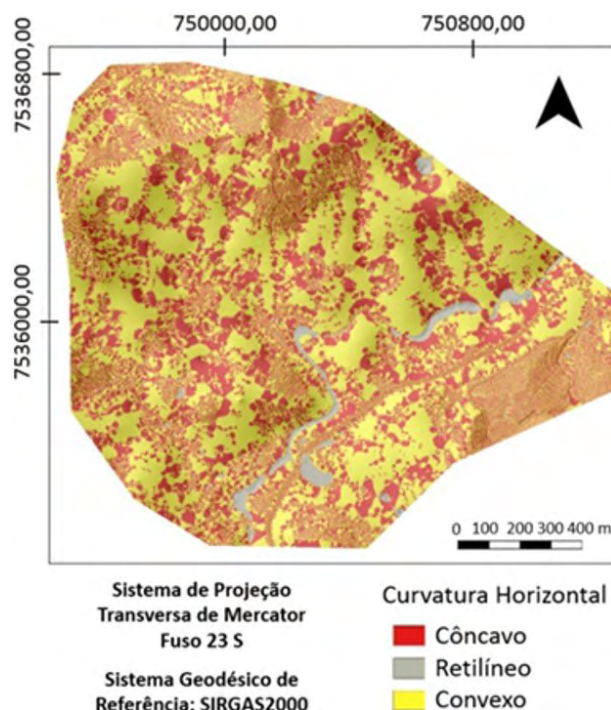


Figura 7 Mapa da Curvatura Horizontal.

4 Conclusões

De acordo com os resultados obtidos, os produtos cartográficos testados podem ser considerados acurados conforme o Decreto-lei 89.817/ET-ADGV. A partir da estatística inferencial, o ortomosaico derivado do processamento obteve a classificação B para escala 1:2000 e o MDT com classificação A para uma equidistância de 5 m nas curvas de nível.

A utilização da tecnologia VANT aliada às técnicas fornecidas pela Fotogrametria proporcionaram produtos cartográficos satisfatórios após o processamento das imagens junto aos pontos de controle levantados em campo, principalmente por ser uma alternativa de baixo custo quando comparado ao método tradicional do voo aerofotogramétrico.

Entretanto, as discrepâncias altimétricas encontradas podem ser justificadas pela variação do valor da distância focal definida pela calibração (5,465 - 5,412 mm) e utilizada no processamento do bloco, o que influencia diretamente na componente altimétrica e, consequentemente, corrobora para o aumento da incerteza nas componentes planimétricas devido ao efeito da variação da escala cartográfica em razão da amplitude altimétrica. A presença de um sensor GNSS traria maior estabilidade ao sistema de equações normais do ajustamento em bloco, com a orientação inicial das imagens, refinada com os pontos de controle nas etapas seguintes de orientação interior e exterior.

Contudo, convém destacar que a partir da verificação da qualidade do MDT e constatação da conformidade com do modelo com os valores adotados como verdadeiros, foi possível realizar a extração de informações geomorfológicas acuradas, viabilizando a verificação de parâmetros fundamentais como os mapas de elevação, declividade, curvatura vertical e curvatura horizontal elaborados, passíveis de serem utilizados em diversos estudos para a região.

Portanto, os mapas elaborados mostram-se eficazes para o limite de escala, pois cumpriram os objetivos propostos. Tais mapas são concisos, pois contêm os dados necessários ao tratamento do assunto por eles representados, são completos, pois recobrem a totalidade da área de estudo proposta, sem corte ou interrupção e verdadeiros, pois se mantêm dentro dos limites impostos pela documentação ou observação, nos limites de sua escala e sistema de projeção.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem o auxílio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) ao projeto “Avaliação de Geoambientes e a Utilização de VANT para o Mapeamento de Desastres Naturais. Estudo de Caso: Nova Friburgo, RJ” do Instituto Tecnologia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) (CNPq. Proc. 483650/2013-7).

6 Referências

- Alves Jr., L.R. 2015. *Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um veículo aéreo não tripulado em áreas urbanas e rurais no estado de Goiás*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Dissertação de Mestrado, 112p.
- Baptista, A.C. 2009. *Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa, erosão e escoamento superficial em Nova Friburgo, RJ*. Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Tese de Doutorado, 389p.
- Barbosa, E.M.; Monico, J.F.G.; Alves, D.B.M. & Oliveira, L.C. 2010. Integridade no posicionamento RTK e RTK em rede. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 16(4): 589-605.
- BRASIL. 1984. Decreto Nº 89.817 de 20 de Junho de 1984. Normas Técnica Da Cartografia Nacional. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em: 04 jun. 2020.
- BRASIL. 2017. Agência Nacional de Aviação Civil. Resolução nº 419, de 2 de maio de 2017. *Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial*, RBAC-E nº 94, Brasília, 25p.
- Canon. 2020. PowerShot S100. Disponível em: <<https://www.canon.com.br/produtos/produtos-para-voce/cameras/linha-powershot/serie-s/s100>>. Acesso em: 01 jun. 2020.
- Casemiro, G.H.M. & Pinto, H.B. 2014. *Composição e processamento de imagens aéreas em alta resolução obtidas com Drone*. Programa de Graduação em Engenharia Eletrônica, Universidade de Brasília, Monografia, 78p.
- Colomina, I.; Blázquez, M.; Molina, P.; Parés, M. E. & Wis, M. 2008. Towards a new paradigm for high-resolution low-cost Photogrammetry and Remote Sensing. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 37, Pequim, Artigo complete, 2008, Pequim, p. 1201-1206.
- DSG. 2016. Diretoria do Serviço Geográfico. Especificação Técnica Para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). Disponível em: <<http://www.geoportal.eb.mil.br/portal/index.php/inde2?id=140>>. Acesso em: 04 jun. 2020.
- Eisenbeiss, H. 2009. *UAV Photogrammetry*. Programa de Pós-Graduação em Ciência, Universidade Técnica de Dresden, Tese de Doutorado, 237p.
- EMBRAPA. 2018. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, EMBRAPA. 588p.
- Garcia, M.V.Y.; Oliveira, H.C.; Fernandes, R.F. & Costa, D. C. 2020. Evaluation of Different Methods for Non-Metric Camera Calibration. *Anuário do Instituto de Geociências*, 43(1): 266-272.
- Ghilani, C.D. & Wolf, P.R. 2006. *Adjustment computations: Spatial Data Analysis*. Nova Jersey, John Wiley & Sons, 720p.
- Graça, N.L.S.S.; Oliveira, A.A.A.; Miola, G.A.R. & Mitishita, E.A. 2014. Estudo da calibração “in situ” de câmeras digitais de baixo custo visando aplicações em fotogrametria terrestre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 26, Gramado, 2014. Resumo expandido, Gramado, UFRGS, p. 1-7.
- IBGE. 2020. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Nova Friburgo. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/nova-friburgo/panorama>>. Acesso em: 01 jun. 2020.
- Joly, F. 1990. *A Cartografia*. Campinas, Papirus, 112p.
- Lorentz, J.F.; Calijuri, M.L.; Marques, E.G. & Baptista, A.C. 2016. Multicriteria analysis applied to landslide susceptibility mapping. *Natural Hazards*, 83(1): 41-52.
- Luz, C.C. & Antunes, A.F.B. 2015. Validação da tecnologia VANT na atualização de bases de dados cartográficos—estudo de caso: sistema cástico do Rio João Rodrigues. *Revista Brasileira de Cartografia*, 67(7): 1439-1452.
- Nero, M.A. 2005. *Propostas para o controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional*. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 186p.
- Pavlis, N.K. & Saleh, J. 2005. Error propagation with geographic specificity for very high degree geopotential models. *International Association of Geodesy Symposia*, 129:149-154.
- Roberto, A.J. 2013. *Extração de Informação Geográfica a partir de Fotografias Aéreas obtidas com VANTs para apoio a um SIG Municipal*. Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Informação Geográfica, Universidade do Porto, Dissertação de Mestrado, 79p.
- Santos, A.P.; Rodrigues, D.D.; Santos, N.T. & Gripp Jr., J. 2016. Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 22(4): 630-650.
- Valeriano, M.M. & Carvalho Jr., O.A. 2003. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 4(1): 17-29.
- Valeriano, M.M. 2003. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(3): 539-546.
- Zanetti, J.; Gripp Jr., J. & Santos, A.P. 2017. Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(2): 263-277.